Light Emitting Diodes

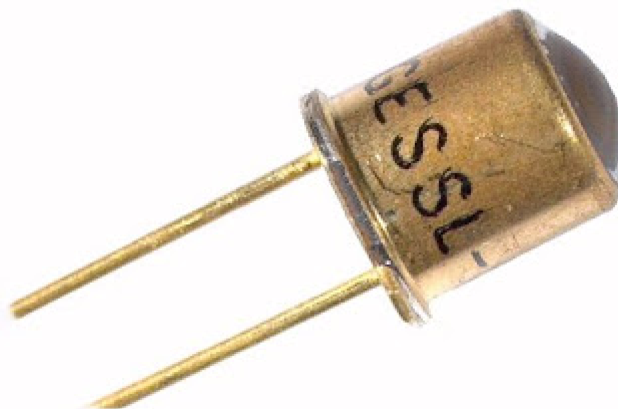
In de jaren 20 van de vorige eeuw ontdekte de Russische radiotechnicus Oleg Losev dat de diodes die hij gebruikte als demodulator in zijn primitieve AM-radio's licht uitstraalden als hij er een stroom doorheen stuurde. LED's hebben de wereld op een stormachtige manier veroverd. Tussen de eerste infrarode LED uit de jaren 60 van de vorige eeuw en de verblindende COB's van deze moderne tijd zitten minder dan zestig jaar.

Auteur: Jos Verstraten, Landgraaf, Nederland
Email: josverstraten@live.nl
Publicatiedatum: 08-01-2019

Fysische achtergronden

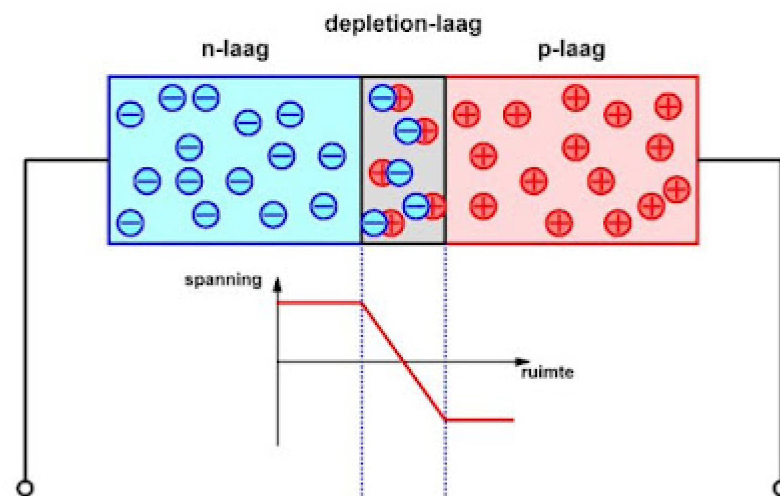
De eerste ontdekking van halfgeleider licht
In de jaren 20 van de vorige eeuw ontdekte de Russische radiotechnicus Oleg Losev dat de diodes die hij gebruikte als demodulator in zijn primitieve AM-radio's licht uitstraalden als hij er een stroom doorheen stuurde. In 1927 publiceerde hij zijn bevindingen in een Russisch tijdschrift. Als gevolg van de politieke ontwikkelingen in de wereld van die tijd bleef zijn werk echter onopgemerkt in ons deel van de wereld. Nog niet zo lang geleden kreeg hij echter het welverdiende eerherstel. In april 2007 werd Losev in het tijdschrift *Nature Photonics* geëerd als uitvinder van de LED.

De eerste praktisch bruikbare LED's
In 1961 werd de eerste op GaAs gebaseerde LED per toeval ontwikkeld door J. R. Biard en G. Pittman bij hun onderzoek naar varactor-diodes. Een jaar later werd deze technologie door Texas Instruments en General Electric gebruikt voor het op de markt brengen van de eerste infrarode LED: de SNX-100 werd voor US$ 130.00 aangeboden. Onder andere IBM gebruikte deze LED als lichtbron in haar ponskaartlezers.
In hetzelfde jaar ontwikkelde N. Holonyack Jr. van General Electric de eerste LED die zichtbaar rood licht uitstraalde. Hij gebruikte GaAsP (Gallium Arsenide Phosphide) op een GaAs substraat.
U moest het een lange tijd stellen met alleen infrarode en rode LED's. Eerst in 1972 ontwierp M. G. Craford de eerste gele LED bij Monsanto. Vanaf dat moment gingen de ontwikkelingen razendsnel. De ene na de andere kleur kwam beschikbaar als LED-licht met hoogtepunt de constructie van de witte LED in de jaren 90 door Shuji Nakamura.



De eerste commercieel verkrijgbare LED, de SNX-100. (© lamptech.co.uk)

De werking van een LED
Hoe komt het dat een diode licht uitstraalt? Om dat te verklaren is een grondige inkijk in de bouw van de materie op atomair niveau noodzakelijk. Dat gaan wij hier niet doen, misschien dat wij ooit een artikel hierover op dit blog publiceren. In dit artikel volstaan wij met een vrij oppervlakkige verklaring.
Een LED bestaat altijd uit twee halfgeleidende lagen. De n-laag bevat een elektronenoverschot, de p-laag heeft een tekort aan elektronen. Die twee lagen worden verkregen door aan zeer zuiver silicium kleine hoeveelheden van andere materialen toe te voegen. De atomen van deze verontreinigingen worden opgenomen in het atoomraster van het silicium. Hierdoor ontstaan het teveel en het tekort aan elektronen. Het tekort aan elektronen in de p-laag kan worden opgevat als een teveel aan positieve gaten. Als beide lagen met elkaar in contact worden gebracht worden de ladingsverschillen op de grenslaag gecompenseerd. Op de plaats waar de p-laag en de n-laag elkaar raken zal het overschot aan elektronen in de n-laag de gaten in de p-laag opvullen, hetgeen voor een ***'depletion-zone'*** zal zorgen. Daarbij vloeit echter geen stroom, het np-lichaam dat ontstaat is neutraal. Om een stroom door de diode te laten vloeien, moet u eerst de interne spanning van deze depletion-zone overwinnen. Vandaar dat er over een LED altijd een spanning ontstaat als u er een stroom doorheen stuurt. Als u de spanning opvoert zal de elektronenstroom vrij vanuit de n-laag naar de p-laag kunnen stromen. In de p-laag wordt een deel van deze elektronen echter opgevangen door de gaten. Deze elektronen geven een deel van hun energie daarbij af onder de vorm van lichtflitsen. Het gegenereerde licht kan ontsnappen via de dunne p-laag. De lichtintensiteit wordt hierbij bepaald door de stroomsterkte. Hoe sterker de stroom, hoe intenser het licht.



De samenstelling van een LED. (© 2019 Jos Verstraten)

Wat bepaalt de kleur van een LED?
Wij schreven in de vorige paragraaf dat het licht ontstaat doordat elektronen in de gaten 'vallen' en daardoor een deel van hun energie afstaan. Nu hangt het energieverschil tussen de elektronen en de gaten af van het materiaal waaruit de n- en p-lagen zijn samengesteld. Sommige materialen leveren elektronen en gaten op met meer energie dan andere materialen. Als een laag-energetisch elektron in een gat 'valt' zal het minder energie onder de vorm van licht uitstralen dan wanneer een hoog-energetisch elektron in zo'n gat 'valt'. De energie van licht uit zich onder andere onder de vorm van de golflengte ervan. Rood licht heeft minder energie dan blauw licht. Laag-energetische elektronen wekken dus rood licht op, hoog-energetische elektronen blauw licht. Wilt u een LED maken die geel licht uitstraalt? Het komt er dan op aan halfgeleidende n- en p-materialen te zoeken die een energie-verschil opleveren dat overeen komt met de golflengte van geel licht.

Zenden LED's dus monochromatisch licht uit?
Ja, zonder meer! LED's zijn, wat dit betreft, te vergelijken met LASERS. Het licht dat een LED uitzendt bestaat uit maar één golflengte. Die golflengte wordt altijd vermeld bij de specificaties van een LED. Zo zal een rode LED licht uitstralen met een golflengte tussen 610 nm en 760

nm. Een blauwe LED straalt tussen 450 nm en 500 nm.

Hoe zit dat dan bij witte LED's?
Wit licht is per definitie niet monochromatisch. Wit licht bestaat namelijk uit de combinatie van licht met een heleboel golflengtes. Hoe kan dan een LED, die per definitie monochromatisch is, wit licht uitstralen? Dat kan niet en bij de fabricage van witte LED's wordt een trucje toegepast. Een witte LED is een blauwe LED met een extra fluorescerende laag. Deze fluorescerende laag zet een gedeelte van het blauwe licht om in geel licht. Het mengsel van blauw en geel licht wordt door de mens ervaren als wit licht. Door de mengverhouding tussen geel en blauw licht aan te passen kan men 'warm wit' en 'koud wit' licht produceren.

Eigenschappen van LED's

De kleur en het halfgeleidend materiaal
De kleur, dus de golflengte, van het uitgezonden licht is uiteraard de belangrijkste eigenschap van een LED. De kleur is afhankelijk van de halfgeleidende materialen die worden gebruikt. In de onderstaande tabel geven wij een overzicht van de belangrijkste materialen die momenteel worden gebruikt.

KLEUR	GOLFLENGTE	HALFGELEIDEND MATERIAAL
Infrarood	kleiner dan 760 nm	Gallium arsenide (GaAs) Aluminium gallium arsenide (AlGaAs)
Rood	610 nm tot 760 nm	Aluminium gallium arsenide (AlGaAs) Gallium arsenide phosphide (GaAsP) Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP) Gallium(III) phosphide (GaP)
Oranje	590 nm tot 610 nm	Gallium arsenide phosphide (GaAsP) Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP) Gallium(III) phosphide (GaP)
Geel	570 nm tot 590 nm	Gallium arsenide phosphide (GaAsP) Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP) Gallium(III) phosphide (GaP)
Groen	500 nm tot 570 nm	Gallium(III) phosphide (GaP) Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP) Aluminium gallium phosphide (AlGaP) Indium gallium nitride (InGaN) Gallium(III) nitride (GaN)
Blauw	450 nm tot 500 nm	Zink selenide (ZnSe) Indium gallium nitride (InGaN)
Paars	400 nm tot 450 nm	Indium gallium nitride (InGaN)
Ultraviolet	groter dan 400 nm	Indium gallium nitride (InGaN) Boron nitride (215 nm) Aluminium nitride (AlN) Aluminium gallium nitride (AlGaN) Aluminium gallium indium nitride (AlGaInN)

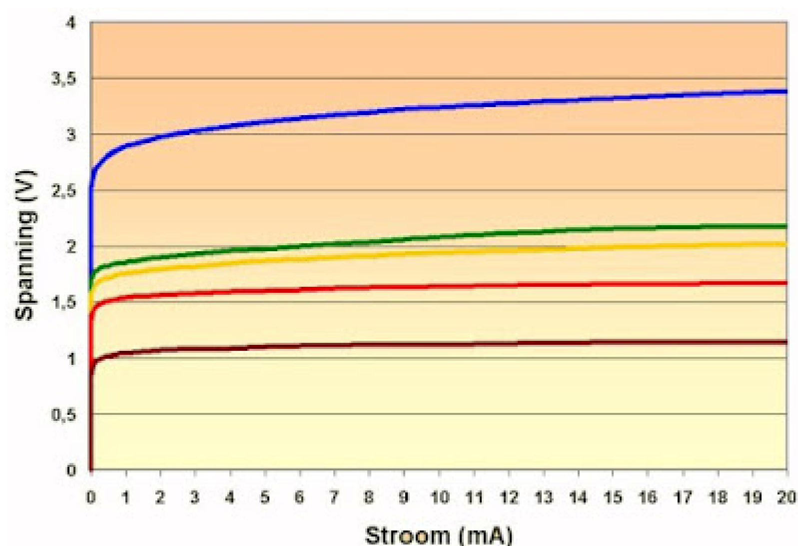
De kleur in relatie tot de gebruikte halfgeleidende materialen. (© 2019 Jos Verstraten)

De geleidingsspanning
Zoals reeds geschreven wordt er in de p/n-overgang een bepaalde spanning opgebouwd over de depletion-zone. Dit kunt u opvatten als de geleidingsspanning van de LED. Als u een stroom door de LED stuurt zal er een vrijwel constante spanning over de LED ontstaan, die uiteraard afhankelijk is van de kleur. Deze geleidingsspanning varieert tussen ongeveer 1,6 V en 4,1 V, zie onderstaande tabel.

KLEUR	GELEIDINGSSPANNING
Infrarood	kleiner dan 1,6 V
Rood	1,6 V tot 2,0 V
Orange	2,0 V tot 2,1 V
Geel	2,1 V tot 2,2 V
Groen	1,9 V tot 4,0 V
Blauw	2,5 V tot 3,7 V
Paars	2,7 V tot 4,0 V
Ultraviolet	3,0 V tot 4,1 V

De geleidingsspanning over een LED. (© 2019 Jos Verstraten)

De spanning/stroom-karakteristiek
Over een geleidende LED ontstaat een spanning die vrij constant is en dus in hoge mate onafhankelijk van de stroom die door het onderdeel vloeit. Het zal dan wel geen verbazing wekken dat de karakteristiek van een LED er uitziet zoals getekend in onderstaande figuur. Uit deze figuur volgt dat de inwendige weerstand van een LED zeer laag is. Immers, een grote stroomvariatie heeft een zeer kleine spanningsvariatie tot gevolg. *U mag dus nooit een LED zonder voorschakelweerstand op een spanningsbron aansluiten. De LED gaat onmiddellijk stuk als gevolg van de veel te grote stroom die door het onderdeel gaat lopen.*



De spanning/stroom-karakteristiek van een LED. (© 2007 Philip Bosma)

De levensduur van een LED
De levensduur van een LED is in hoge mate afhankelijk van externe factoren, zoals de stroom en de temperatuur. Standaard gaat men echter uit van een levensduur van 50.000 uren. De meeste fabrikanten beweren dat de lichtopbrengst dan gemiddeld met slechts 30 %

is afgenomen ten opzichte van de beginwaarde. Deze levensduur wordt in de specificaties vaak vermeld als *'L70'*, de levensduur tot de lichtopbrengst in gereduceerd tot 70 % van de beginwaarde.
Ter vergelijking: gloeilampen hebben een levensduur van ongeveer 2.500 uren.

De temperatuurafhankelijkheid
De lichtopbrengst van een LED is tamelijk onafhankelijk van de temperatuur van het onderdeel. Bij temperaturen hoger dan 25 °C neemt de lichtopbrengst echter zeer geleidelijk iets af.

Het rendement van LED's
LED's hebben het hoogste rendement van alle lichtbronnen. Een LED-lamp verbruikt ongeveer tien keer zo weinig energie als een conventionele gloeilamp. Dat maakt LED-verlichting niet alleen zeer zuinig, maar ook milieuvriendelijk.
Het lichtrendement wordt uitgedrukt in lumen per watt, met de uitgezonden lichtenergie in lumen en de totale verbruikte energie (licht + warmte) in watt. Een doorsnee highpower-LED produceert ongeveer 120 lm/W maar er bestaan al LED’s die onder ideale condities tot 300 lm/W halen. Ter vergelijking: een gloeilamp heeft een rendement van slechts 15 lm/W, een spaarlamp 60 lm/W en een TL-buis 100 lm/W.

Besturing van de intensiteit
LED's zijn maar in een beperkte mate te dimmen door het verlagen van de voedingsspanning. De lichtopbrengst neemt iets af bij verlagen van de voedingsspanning en dan dooft de LED opeens. LED's zijn echter ideale onderdelen om te dimmen via puls breedte modulatie (PWM). Met een goede regelschakeling kunt u de intensiteit vrijwel lineair regelen van 0 % tot 100 %.

Kleine ecologische voetafdruk
LED's hebben de kleinste ecologische voetafdruk van alle lichtbronnen. Dat betekent dat zij het milieuvriendelijkst te fabriceren zijn. Daarnaast heeft een LED-lamp geen kwik of andere gezondheid- of milieuschadelijke stoffen nodig om licht te kunnen uitstralen, iets dat van een heleboel andere lichtbronnen niet gezegd kan worden.

Geen UV- of IR-licht
Omdat LED's monochrome lichtbronnen zijn zullen zij geen ultraviolette of infrarode straling uitzenden. Dit maakt deze onderdelen uitermate geschikt voor omgevingen waarin dergelijke straling onwenselijk is zoals in musea.

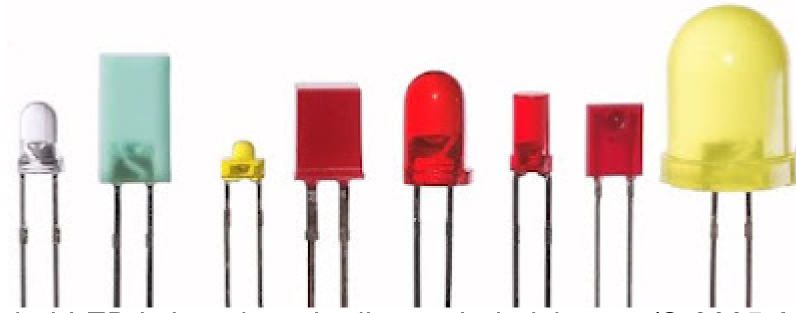
Snelle responstijd
LED's stralen vrijwel onmiddellijk licht uit op het moment dat u de voedingsspanning op de LED plus voorschakelweerstand zet. Ook het uitschakelen gaat volledig traagheidsloos. De stijg- en daaltijden liggen in de grootte-orde van microseconden tot zelfs nanoseconden.

De standaardstroom
De stroom die u continu door een leaded-LED mag sturen wordt algemeen als 20 mA gedefinieerd, maar de meeste LED's kunnen even 50 mA verwerken zonder lange-termijn schade op te lopen. Het is echter heel goed mogelijk om pulsvormige stromen tot wel 1 A door een LED te sturen, maar dan moet u er wél op letten dat de gemiddelde stroom niet hoger wordt dan 20 mA.

Verschillende soorten LED's

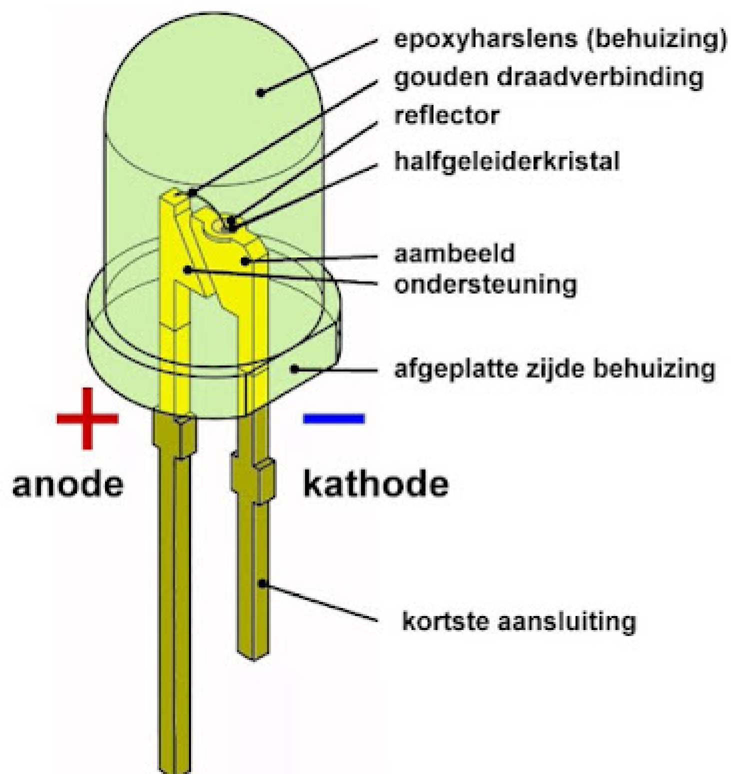
Leaded-LED’s
Dat zijn de bekendste en vaak toegepaste LED's: een kunststof cilindertje van 5 of 3 mm diameter met twee aansluitdraadjes er aan. Vaak heeft de behuizing dezelfde kleur als het

licht dat de LED uitstraalt, maar dit is niet altijd het geval. Er worden ook gekleurde LED's aangeboden die in een volledig transparante behuizing zijn ondergebracht. In de onderstaande foto zijn de meest voorkomende uitvoeringen van leaded-LED's weergegeven.



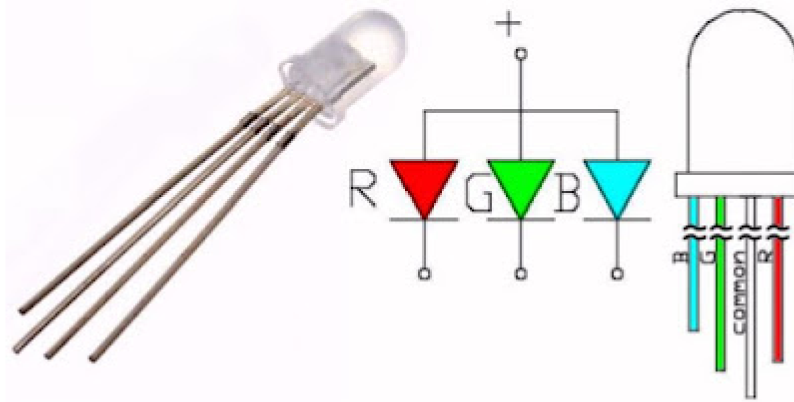
De leaded-LED is leverbaar in diverse behuizingen. (© 2005 Afrank99)

De standaard constructie van een leaded-LED is voorgesteld in de onderstaande figuur. Het halfgeleiderkristal, de eigenlijke LED, is zeer klein en is gemonteerd op het aambeeld. Let op de specifieke vorm van aambeeld en ondersteuning. Op deze manier kunt u altijd de anode en de kathode herkennen. Het aambeeld met de chip is namelijk altijd verbonden met de kathode. Andere gestandaardiseerde kenmerken zijn dat de afgeplatte kant van de behuizing aan de kant van de kathode zit en dat de kathode verbonden is met het kortste aansluitdraadje.
Het vermogen van dergelijke LED's is beperkt tot 30 mW à 100 mW. Uit dit gegeven kunt u afleiden dat de stroom die u door een dergelijke LED kunt sturen beperkt is tot ongeveer 20 mA.



De samenstelling van een leaded-LED. (© 2019 Jos Verstraten)

RGD-LED's
Met de drie basiskleuren rood, groen en blauw kunt u alle kleuren van de regenboog samenstellen. RGB-LED's bestaan in feite uit drie LED's in die drie kleuren die zijn ondergebracht in één behuizing en afzonderlijk zijn aan te sturen. De drie LED's hebben of een gemeenschappelijke anode (CA) of een gemeenschappelijke kathode (CC). Voor het besturen van een dergelijke LED hebt u drie puls breedte modulatoren (PWM's) nodig, die ieder een voedingspuls met een instelbare aan/uit-verhouding genereren. Op deze manier kunt u de intensiteit van iedere LED besturen van 0 % tot 100 % en iedere gewenste mengkleur fabriceren.

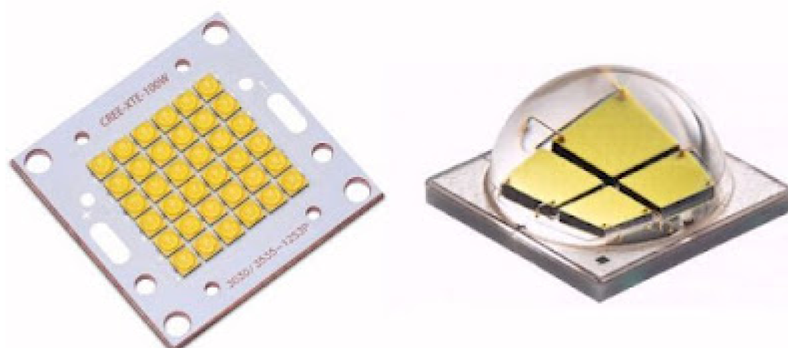


De samenstelling van een RGB-LED. (© 2019 Jos Verstraten)

SMD-LED's
Uiteraard zijn er ook LED's ontwikkeld die u kunt opnemen in surface mounted schakelingen. Helaas bestaat er weinig standaardisatie. SMD-LED's kunt u in tientallen verschillende uitvoeringen en vormen tegenkomen. In onderstaande foto hebben wij een paar van de uitvoeringen samengevat. Wat betreft plaats van anode en kathode bestaat er maar één richtlijn: meten! Zet een gelijkspanning van 5 V in serie met een weerstand van 1 kΩ over de twee aansluitingen. Op deze manier kunt u gemakkelijk uitzoeken waar de kathode zit.

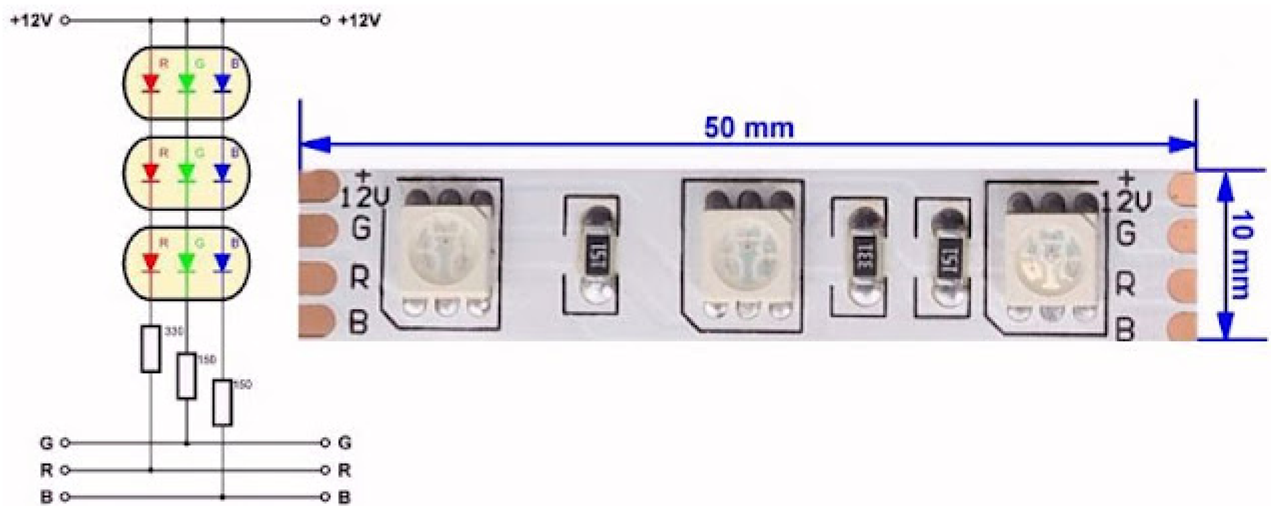

Uitvoeringen van SMD-LED's. (© 2019 Jos Verstraten)

CREE-LED's
In dergelijke lichtbronnen worden meerdere identieke LED-chip's opgenomen en intern in serie geschakeld. Op deze manier krijgt u meer lichtopbrengst en wordt de brandspanning hoger, waardoor u minder vermogen verliest in de serieweerstand. Er bestaan bijvoorbeeld witte CREE-LED's met een brandspanning van 32 V, een stroom van 300 mA en een vermogen van 9,6 W.
Echte CREE-LED's worden gekenmerkt door vierkante chip's van ongeveer 1,0 mm bij 1,0 mm die op hun beurt weer in een vierkant- of rechthoekvormige configuratie zijn opgenomen.


Twee typische uitvoering van CREE-LED's. (© https://lighting.cree.com)

Stripped-LED's
Bij deze unieke vorm van verlichting zijn een heleboel identieke LED-chip's aangebracht op een flexibele lintvormige print. Ook de noodzakelijke voorschakelweerstanden zijn op dit lint geïntegreerd onder de vorm van SMD-chipjes. In onderstaande figuur is een bekende

Stripped-LED voorgesteld, de SMD-5050. Deze bestaat uit segmenten van 50 mm lang en 10 mm breed die ieder drie RGB-LED's bevatten en de noodzakelijke drie voorschakelweerstanden. De strip is om de 50 mm met een schaar door te knippen, zodat u de lengte van de strip aan uw wensen kunt aanpassen. De LED's zijn common anode (CA) en de weerstanden zijn zo geproportioneerd dat u de anodelijn aan +12 V_{dc} kunt aansluiten. Door de drie kathode-lijnen naar de massa te trekken via PWM-schakelingen kunt u het lint alle kleuren van de regenboog laten uitstralen.



De SMD-5050 is een zeer populaire uitvoering van een stripped-LED. (© 2019 Jos Verstraten)

Highpower-LED’s

Highpower-LED’s zijn speciale SMD-LED’s met vrij hoge vermogens. De LED-chip's worden gemonteerd op een koelvlak. Highpower-LED’s bestaan in vermogens van een paar honderd mW tot een tiental W. Ze worden vooral gebruikt voor het vervangen van andere soorten van verlichting, zoals spots, TL-lampen en gloeilampen. Highpower-LED’s worden vaak op een kleine zeshoekige montageplaat gesoldeerd wat het gemakkelijker maakt om deze te testen. U moet deze onderdelen echter wél monteren op een koelplaat om de gedissipeerde warmte af te voeren.



Typische vertegenwoordigers van de highpower-LED's. (© 2019 Jos Verstraten)

COB-LED's

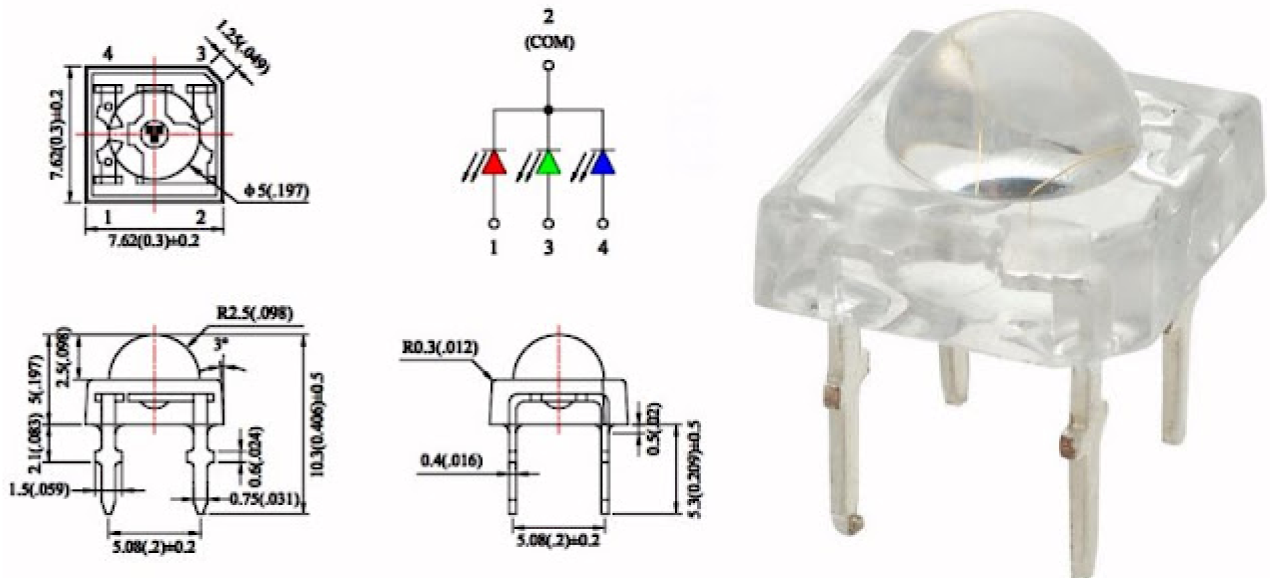
Een vrij nieuwe ontwikkeling op het gebied van hoogvermogen LED's zijn de COB's. COB staat voor 'Chip On Board'. Bij een COB-LED wordt een groot aantal kleine LED-chip's in een rondje of vierkant zo dicht bij elkaar gepositioneerd, dat ze met het blote oog nauwelijks van elkaar te onderscheiden zijn. Als u een COB-LED onder spanning zet, ziet u niet de afzonderlijke lichtpuntjes, zoals u die ziet bij een CREE- of highpower-LED, maar ziet u het gehele oppervlak van de LED egaal oplichten. Het lijkt alsof er een lichtgevend paneeltje in de LED aanwezig is. Voor een heleboel toepassingen geeft dit een veel fraaier lichtbeeld. Bovendien zit op het array van een COB-LED altijd de noodzakelijke elektronica om het geheel rechtstreeks te voeden uit de 230 V netspanning. COB-LED's worden samengesteld op een aluminium basisplaat die voorzien is van twee of vier bevestigingsgaatjes. Ook deze

LED's moet u absoluut monteren op een externe koelplaat.



De DOB-6040A is een typische COB-LED die u rechtstreeks op de 230 V netspanning kunt aansluiten.
(© 2019 Jos Verstraten)

Superflux-LED's
Een vrij nieuwe ontwikkeling zijn deze kleine LED'jes die een zeer hoge lichtopbrengst hebben en dank zij hun gestandaardiseerde behuizing met vier pennetjes ook door bestukkingsautomaten verwerkt kunnen worden. Zij voldoen uitstekend als indicator-LED's op printplaten. Zij kunnen vrij hoge stromen verwerken, een stroom van 50 mA hoort bij de meeste typen tot de mogelijkheden. Let er wél op dat de afstand tussen de vier pennetjes helaas niet is gestandaardiseerd!

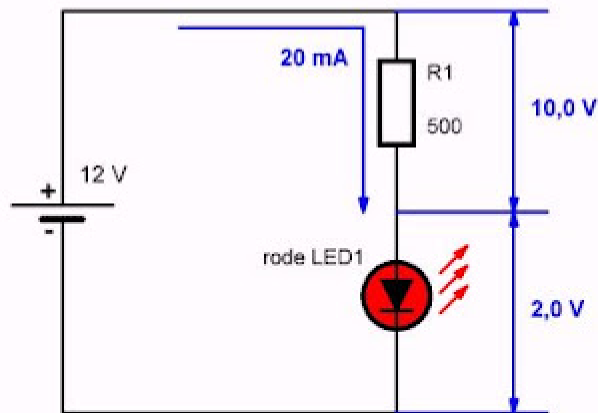


De standaard uitvoering van Superflux-LED's, in dit geval een RGB-LED. (© 2019 Jos Verstraten)

De aansturing van LED's

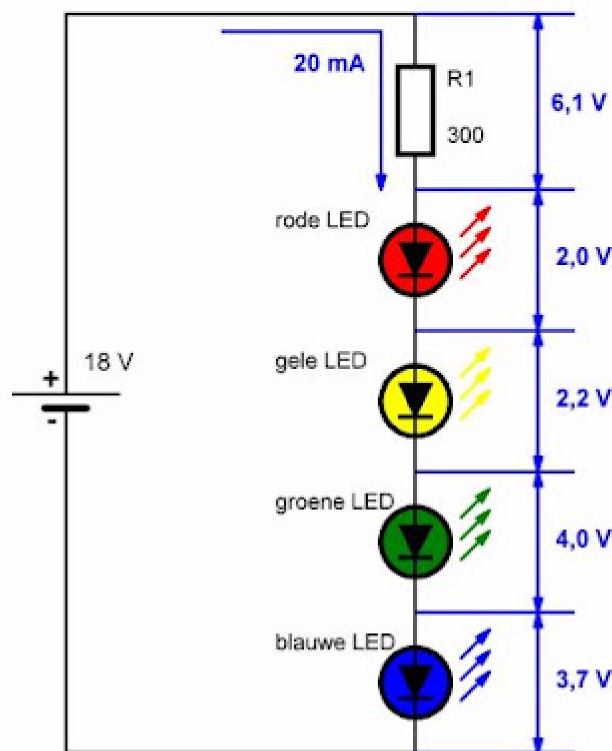
Het aansturen van één LED
LED's zijn stroomgestuurde onderdelen met een zeer lage inwendige weerstand. *U moet dus altijd een weerstand in serie met de LED opnemen voor het beperken van de LED-stroom op een veilige waarde.* Bij leaded-LED's wordt algemeen uitgegaan van een stroom van 20 mA. U kunt de voorschakelweerstand uiteraard gemakkelijk berekenen met de wet van ohm. Stel dat u een rode LED aansluit op een spanning van 12 V. U weet dat de geleidingsspanning

van een rode LED gelijk is aan 1,6 V tot 2,0 V. U neemt de veiligste waarde, dus 2,0 V. Over de serieweerstand moet een spanning vallen van 10,0 V. Uit de wet van ohm volgt dat de waarde van de weerstand gelijk is aan de spanning gedeeld door de stroom, dus 10 V gedeeld door 0,020 A ofwel 500 Ω.



Het voeden van een LED uit een voedingsspanning via een serieweerstand. (© 2019 Jos Verstraten)

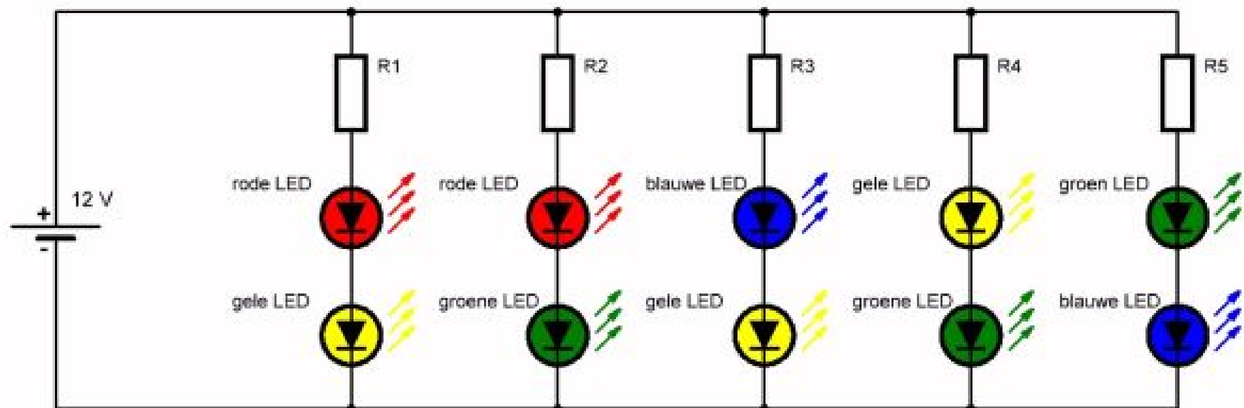
Het in serie schakelen van LED's
U kunt LED's onbeperkt in serie schakelen. U kunt zelfs zonder problemen diverse kleuren in zo'n schakeling opnemen. Het enige dat u moet doen is de geleidingsspanningen van de LED's bij elkaar optellen en deze som aftrekken van de beschikbare voedingsspanning. Het spanningsverschil moet opgevangen worden door de serieweerstand. Houdt er echter wel rekening mee dat er minstens een spanning van 5 V over deze weerstand moet staan om er zeker van te zijn dat de stroom door de LED's vrij stabiel blijft als de voedingsspanning een beetje zou variëren.



Het in serie schakelen van LED's met verschillende kleuren. (© 2019 Jos Verstraten)

Het parallel schakelen van LED's
U mag nooit LED's zonder meer parallel schakelen, zelfs niet LED's met hetzelfde typenummer. De geleidingsspanning van LED's is nooit helemaal identiek, de ene LED zal een iets grotere brandspanning hebben dan de andere. Het gevolg is dat u geen enkele

invloed hebt op de stroomverdeling tussen de parallel geschakelde LED's. In de meeste gevallen zal de LED met de kleinste geleidingsspanning het meeste stroom te verwerken krijgen en misschien wel defect geraken. Als u tóch een heleboel LED's uit een lage voedingsspanning moet voeden, dan moet u deze verdelen in een aantal seriekringen met ieder een voorschakelweerstand. Deze kringen kunt u dan wél parallel schakelen op de voedingsspanning, zie onderstaand schema.



De enige goede manier om een heleboel LED's te voeden uit een lage spanning. (© 2019 Jos Verstraten)